



Comparação Entre os Veículos de Carga Atuais e o Trem-Tipo Recomendado Pela NBR 7188

Anderson Gobbi Drun¹, Rafael Alves de Souza²

¹Mestrando na Universidade Estadual de Maringá / Departamento de Engenharia Civil /
anderdrun@hotmail.com

Prof. Dr. em Universidade Estadual de Maringá / Departamento de Engenharia Civil / rsouza@uem.br

Resumo

A maioria das pontes localizadas nas rodovias brasileiras possui uma idade média superior a 30 anos, ou seja, não retratam mais de forma real o tráfego, principalmente de veículos pesados. Para isso analisou-se a NBR 7188 referente a cargas móveis para pontes em rodovias na versão de 1984 e a sua última atualização de 2013. A atualização insere três diferentes coeficientes para diferentes parâmetros, entre eles, o vão principal da ponte, número de faixas de rolagem e o material utilizado na estrutura e tem como objetivo majorar o valor do trem-tipo a fim de retratar o cenário atual de veículos cada vez maiores e mais pesados. Para isso faz-se a análise de dois diferentes tipos de veículos pesados que trafegam pelas rodovias brasileiras, conhecidos por bi-trem e rodo-trem respectivamente. Considera-se o peso total dos veículos dividido entre os seus eixos e vinda de um banco de dados de diferentes rodovias a fim de comparar com os valores recomendados pela norma. A análise concentrou-se na obtenção do momento fletor atuante em uma ponte fictícia utilizando o software de análise estrutural bidimensional Ftool. Desse modo, percebeu-se que a versão da norma de 1984 está defasada em relação ao tráfego atual. A inserção dos coeficientes que majoram o valor do trem-tipo presente na versão da norma de 2013 apresenta resultados mais próximos dos obtidos para os veículos de carga analisados. Visto que a maioria das estruturas das pontes foi dimensionada na vigência da versão anterior da norma conclui-se que as mesmas podem não atender aos requisitos mínimos de segurança comprometendo a segurança de seus usuários.

Palavras-chave: Cargas móveis, ponte rodoviárias, tráfego veículos pesados no Brasil..

Introdução

Em uma estrutura diferentes cargas e ações podem vir a acontecer durante a vida útil da mesma. É justamente nessa fase do projeto que essas considerações são feitas e o dimensionamento das peças estruturais é fortemente influenciado pelos resultados dessa análise. Segundo a NBR 6118 (2014) as cargas podem ser do tipo permanente, ou seja, estarão presentes em toda a vida útil da estrutura ou acidentais, que podem ou não atuar na estrutura por um determinado período de tempo. Para a análise de pontes, as cargas acidentais se tornam preponderante devido ao efeito das cargas móveis que reproduzem o efeito dos veículos ao passarem por essa estrutura e o efeito que o mesmo causa em termos de esforços.

Como as cargas móveis se movimentam sobre a estrutura, é importante saber o seu valor e também a posição onde a mesma provoca os valores extremos (máximos e mínimos). A determinação dos valores extremos e a posição onde atua para carregamentos mais simples a análise das cargas móveis podem retornar valores próximos da realidade, porém, para carregamentos mais complexos, esse procedimento se torna pouco eficiente e não tão prático. Devido a isso se introduz o conceito das linhas de influência.

As linhas de influência descrevem a variação do efeito que uma carga móvel provoca ao passar por uma estrutura. Com isso gera-se um diagrama com os valores máximos e mínimos que retratam o efeito provocado pela carga. O intervalo entre esses valores é dito a zona segura para

dimensionamento ou também chamada de envoltória de esforços. Segundo HOLTZ et. al. (2005) a envoltória limite de esforços internos de uma estrutura é um diagrama que representa, para cada seção transversal da estrutura, os esforços limites devido à ação de um trem-tipo.

Com o objetivo de avaliar os conceitos de cargas móveis e linhas de influência fez-se um estudo sobre o tráfego nacional brasileiro. A base de dados considerada foi retirada de MENDES (2009) que retratou o cenário das rodovias nacionais, informações de dimensões de pontes, idade média e cargas móveis consideradas. Já ROSSIGALI (2013) traz um panorama dos veículos que circulam pelas rodovias brasileiras tendo como base um banco de dados extraídos de diferentes concessionárias que administram essas estradas. Informações como frequência de passagem de diferentes veículos, peso bruto total e distância entre eixos foram consideradas.

Os veículos considerados para o estudo foram os que apresentaram maior peso bruto dentre as categorias apresentadas e o comparativo foi feito utilizando como base a NBR 7188 “*Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas*“. Duas versões da citada norma foram analisadas, a primeira de 1984 e a segunda mais recente de 2013. O objetivo de analisar a versão antiga é devido à idade média das pontes que pode chegar a mais de 30 anos, devido a isso a importância de avaliar o efeito dos veículos pesados sobre as mesmas. A versão de 2013 manteve as mesmas cargas móveis da versão anterior, porém, introduziram-se coeficientes de majoração das mesmas. O objetivo do trabalho é avaliar se esses coeficientes são capazes de retratar o atual cenário dos veículos que circulam pelas rodovias e também quão diferença existe entre a versão mais antiga com o atual cenário.

Carregamentos em Pontes

Trem-tipo

O trem-tipo é definido como o conjunto de cargas móveis posicionada na região mais desfavorável da estrutura. Possui valores de carregamento e espaçamento entre eixos definido por normas específicas, onde varia em diferentes países. No Brasil, a norma vigente é a ABNT NBR 7188 (2013) *Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas*. O efeito do trem-tipo nas estruturas tem como objetivo avaliar os esforços internos máximos e mínimos e a posição onde esses esforços sejam mais desfavoráveis.

ABNT NBR 7188 (2013)

A NBR 7188 (2013) normatiza o valor das cargas móveis para projeto de pontes, viadutos e passarelas no Brasil. A classificação quanto ao trem-tipo, distância entre eixos, peso em cada eixo continuam as mesmas referentes à versão anterior da citada norma, do ano de 1984. A última alteração trouxe a inserção de três diferentes coeficientes com o objetivo de majorar as cargas do trem-tipo. Esses coeficientes consideram, por exemplo, o número de faixas de rolagem e coeficientes de impacto. Com isso o valor das cargas, considerando a atual versão da norma, chega a ser 45% superior ao da versão anterior (SILVA et. al., 2014).

O trem-tipo recomendado pela NBR 7188 (2013) possui dimensões de 6,0 m de comprimento e 3,0 m de largura e está localizado na posição mais desfavorável da estrutura. A carga p e p' são referentes, respectivamente, a carga de multidão e carga nos passeios. A Figura 1 mostra os dois

diferentes trens-tipos considerados pela NBR 7188 (2013) bem como seus respectivos carregamentos.

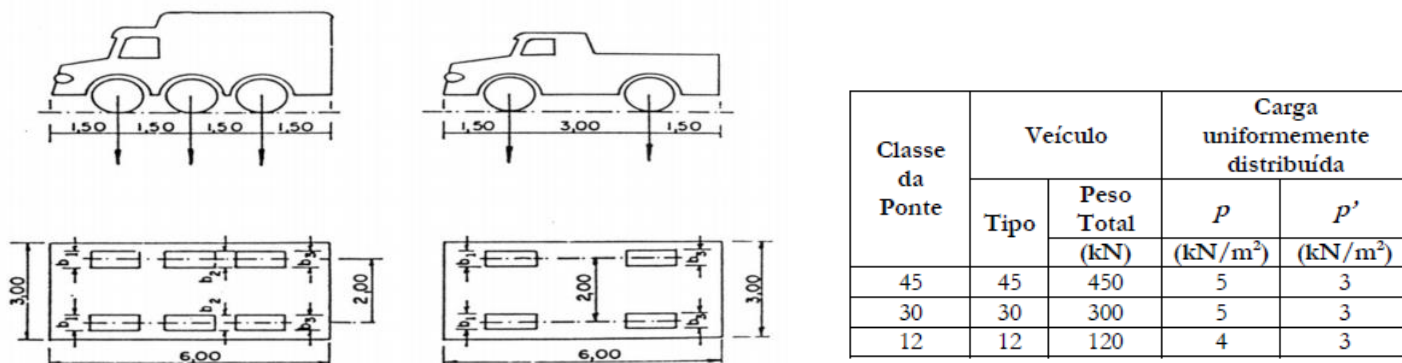


Figura 1: a) Tipologia do trem-tipo b) Diferentes classes de veículos bem como seus carregamentos. Fonte: NBR 7188 (2013).

A carga concentrada Q e a carga distribuída q são cargas móveis aplicadas ao nível do pavimento e tem seus valores característicos ponderados por coeficientes. A Equação (1) e Equação (2) mostram as duas respectivamente.

$$Q = P * CIV * CNF * CIA \quad (1)$$

$$q = p * CIV * CNF * CIA \quad (2)$$

Onde:

P : valor estático de uma roda do veículo trem-tipo;

p : valor estático da carga móvel uniformemente distribuída.

Coefficiente de impacto vertical (CIV): amplifica a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão de veículos motores, a inserção desse coeficiente não elimina a necessidade de análise dinâmica de estruturas sensíveis ou de baixa rigidez, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas. É determinado conforme as Equações (3) e (4).

$$CIV = 1,35 \text{ para estruturas com vão menor que } 10,0 \text{ m} \quad (3)$$

$$CIV = 1 + 1,06 * (20 / Liv + 50) \text{ para estruturas com vão entre } 10,0 \text{ m e } 200,0 \text{ m} \quad (4)$$

Onde:

Liv é o vão em metros conforme o tipo de estrutura, sendo utilizado para estruturas de vão isostáticos, média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos ou o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço;

Coefficiente de número de faixas (CNF): probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas da rodovia. É obtido conforme a Equação (5).

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9 \quad (5)$$

Onde:

n: número inteiro de faixas de tráfego da rodovia a serem carregados sobre um tabuleiro transversalmente contínuo.

Coefficiente de impacto adicional (CIA): destinado à majoração da carga móvel característica devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades das obras. É obtido conforme as Equações (6) e (7).

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas;} \quad (6)$$

$$CIA = 1,15 \text{ para obras em aço.} \quad (7)$$

Dados Rodoviários do Brasil

Pontes Rodoviárias

Estudo desenvolvido por MENDES (2009) buscou relatar um panorama das condições das pontes localizadas nas rodovias do Brasil. Foram contabilizadas 5620 pontes, dentre essas, 93% possuem um vão principal menor que 40 m, 98% das mesmas são construídas em concreto armado ou protendido, com vigas, lajes, pilares e arcos sendo 50% bi apoiadas.

Em relação ao trem-tipo utilizado para o projeto das pontes, do total encontrado, 3154 pontes, cerca de 56%, não tem qualquer informação a respeito, dificultando assim uma análise mais detalhada das condições dessas estruturas. Cerca de 1586 pontes, ou 28% do total, utilizaram um trem-tipo de 360 kN. Na Figura 2 mostra-se a distribuição das pontes considerando o trem-tipo adotado em projeto.

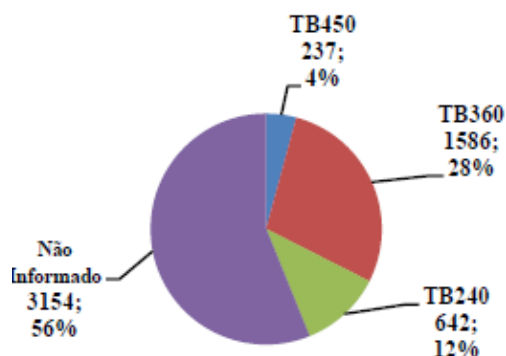


Figura 2: Características de trem-tipos das rodovias brasileiras. Fonte: Mendes (2009).

Algumas outras informações levantadas pelo estudo e relevantes podem ser citadas, entre elas:

- 70% das pontes construídas possuem idade superior a 30 anos;
- 50% das pontes possuem apenas um vão ou um vão e dois balanços;
- 63% das pontes possuem extensão total inferior a 50 m;
- 79% das pontes possuem uma largura total menor que 12 m, indo a desencontro da atual norma, sendo consideradas estreitas;
- O trem-tipo de 240 kN e 360 kN está presente em 90% das pontes, onde o de 450 kN representa 10% ou menos, o que vem de desencontro com o atual tráfego nacional.

Tráfego de Veículos nas Rodovias

O Brasil, em 2004, contava com 1.597.374 km de rodovias, dessas 181.762 km pavimentados. Nesse ano o volume total de carga transportada utilizando rodovias chegou ao número de 600 milhões de toneladas, sendo 46,8% do total transportado no país. Eram 2,9 milhões de veículos comerciais, entre eles, caminhões, carretas, ônibus, entre outros circulando pela malha viária e consequentemente utilizando as pontes inseridas nessas rodovias. Devido a isso se faz necessário um estudo mais profundo que essas cargas oriundas desses veículos podem provocar nas pontes e suas possíveis consequências (LUCHI, 2006).

Visando levantar uma base de dados sobre os veículos que circulam pelas rodovias brasileiras ROSSIGALI (2013) montou uma base híbrida, com informação de diferentes postos de pesagem em diferentes rodovias a fim de conhecer quais as principais classes que circulam nas mesmas, seus respectivos pesos totais e demais informações. Para este artigo serão analisados apenas os pesos totais dos veículos com maior peso bruto total. Na Figura 3 mostra-se a frequência de passagem de cada classe de veículo bem como a sua tipologia. As classes em destaque serão objeto de estudo nesse artigo.

Os veículos 3T4 e 3T6 também conhecidos respectivamente por bi-trem e rodo-trem, não correspondem a grandes porcentagens no levantamento, porém, com o decorrer dos anos nota-se o aumento dos mesmos nas rodovias, principalmente para o transporte de grãos. É a partir desse aumento que se faz necessária uma análise mais detalhada desses tipos de veículos a fim de obter estruturas mais seguras para o tráfego e que retratem melhor o tráfego atual brasileiro. Na Figura 4 mostra-se o histograma para as classes em análise desse artigo, mostrando o peso total brutos dos veículos e a sua respectiva frequência.

Em um veículo composto por mais de duas unidades, caso do bi-trem (3T4) e rodo-trem (3T6) os mesmos são designados como combinações de veículos de carga. Em resolução do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) nº 68 de 1998, regulamenta e orienta a utilização desses veículos. Entre as recomendações destaca-se:

- a) O peso bruto total do veículo não deve exceder 740 kN, respeitando os limites por eixo estabelecido;
- b) Os veículos que possuem peso total entre 570 kN a 740 kN devem possuir um comprimento total igual ou superior a 25 m, não devendo exceder 30 m;
- c) Os veículos cujo peso total seja entre 570 kN a 740 kN deverão possuir uma autorização para circulação, cuja nome é Autorização Especial de Trânsito (AET) fornecida pelo órgão rodoviário da União, Estados, Municípios e dos Distrito Federal.

Porém em resolução nº 184 de 2005, passou a permitir que veículos com peso total entre 570 kN a 740 kN com 7 eixos, e comprimento entre 17,5 m a 19,8 m circulasse pelas rodovias sem a necessidade de autorização especial (AET) refletindo assim na disseminação desses veículos pelas rodovias nacionais (LUCHI, 2006).

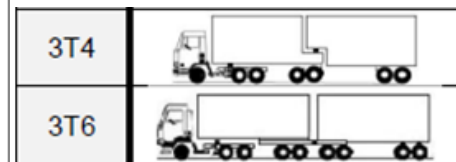
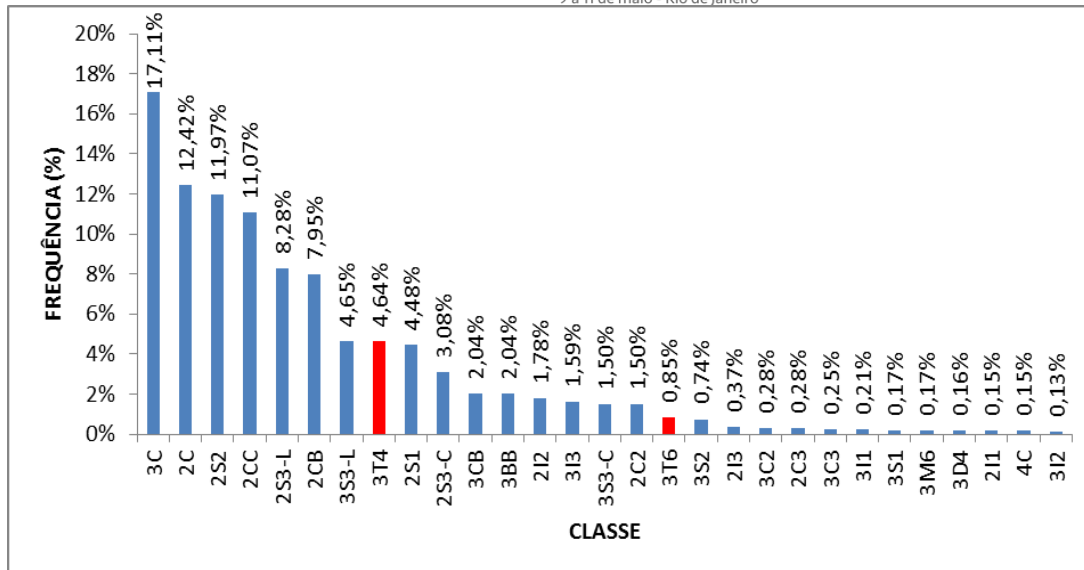


Figura 3: a) Frequência das respectivas classes de veículos b) Tipologia dos veículos considerados nesse estudo. Fonte: Rossigali (2013).

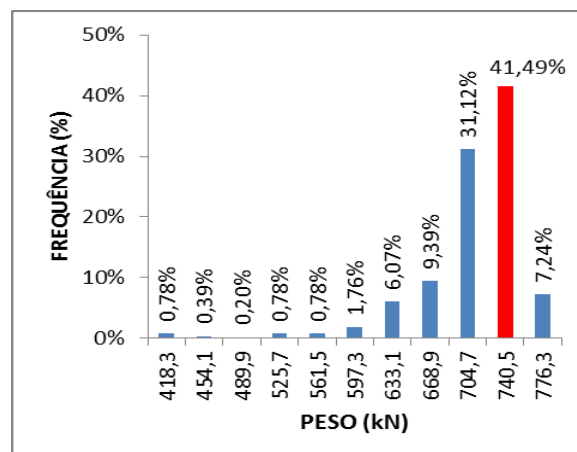
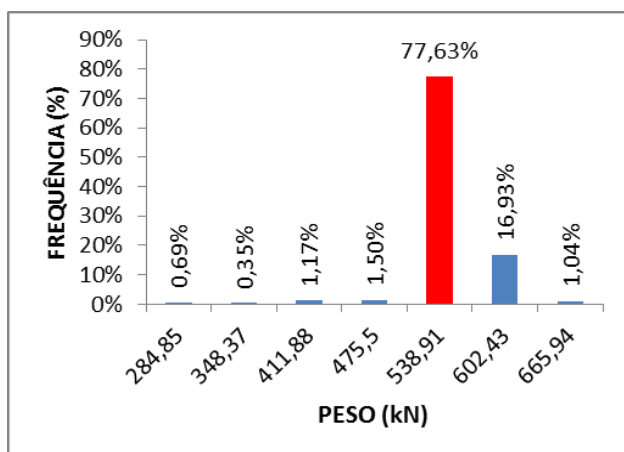


Figura 4: Histograma do peso total dos veículos considerados a) 3T4 b) 3T6. Fonte: Rossigali (2013).

Distância e Carga por Eixos

Não é apenas o peso total dos veículos que circulam pelas pontes que é considerado no dimensionamento das mesmas. A distância entre seus eixos, o comprimento total do veículo e a contribuição de carga por eixo são variáveis recorrentes para se avaliar o efeito desses veículos nas pontes.

Como visto anteriormente, a NBR 7188 (2013) a fim de dimensionamento considera, em seu maior valor, um trem-tipo de peso total 450 kN dividida em 6 eixos distanciadas 1,5 m entre eles. Na realidade do tráfego nacional nota-se que os veículos que hoje circulam possuem uma configuração distinta a essa descrita pela norma. São caminhões ou combinação de veículos de carga cada vez

maiores, com um número elevado de eixos onde os mesmos não contribuem de forma homogênea na distribuição de seu peso.

Tanto a distância entre eixos como o peso total por eixos considerados nesse artigo foram retirado de ROSSIGALI (2013) onde o mesmo retirou os dados através dos postos de pesagem da concessionária AutoBan. Para o cálculo da contribuição por eixo do peso total foi considerada também o método desenvolvido por ROSSIGALI (2013) que calcula a contribuição de cada eixo separando-os em grupos e através de uma equação de primeiro grau estima a contribuição de cada grupo de eixos. Na Tabela 1 mostra-se a distância média entre um eixo e outro e a sua respectiva contribuição para dissipação do peso total do veículo.

Tabela 1: Distância e contribuição de carga por eixo dos veículos.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6	Eixo 7	Eixo 8	Eixo 9
3T4	1,4m	3,75m	1,3m	5,11m	1,25m	3,62m	1,25m		
	1,20%	15,40%	15,40%	15,40%	15,40%	18%	18%		
3T6	1,4m	3,34m	1,35m	5,75m	1,25m	3,7m	1,25m	5,95m	1,25m
	1,80%	10,70%	10,70%	12,40%	12,40%	11,80%	11,80%	14,08%	14,08%

Procedimento Experimental e Resultados

Com o objetivo de avaliar os esforços em pontes rodoviárias utilizando a NBR 7188 (1984), NBR 7188 (2013) e os veículos de carga 3T4 e 3T6 utilizou-se o software de análise estrutural Ftool.

Como mencionado anteriormente, a última atualização da NBR 7188 inseriu coeficientes que majoram o valor das cargas do trem-tipo. Com isso o objetivo do artigo é avaliar se esse acréscimo realmente retrata o atual cenário do tráfego brasileiro. Para isso o trem-tipo adotado foi o TB360, que possui um peso total de 360 kN sendo dividido em 60 kN por eixo, lembrando que esse trem-tipo na última atualização da NBR 7188 foi excluído. Optou-se por esse modelo, pois no levantamento apresentado anteriormente a cerca das pontes brasileiras verificou-se que o mesmo apresenta a maior porcentagem de pontes já construídas.

Para os veículos 3T4 e 3T6 consideraram-se como peso total bruto os valores com maior frequência no histograma mostrado na Figura 4. A disposição do peso por eixo levou em conta o estudo de Rossigali (2013) demonstrado na Tabela 1.

As dimensões da ponte analisada também foram influenciadas pelo levantamento apresentado anteriormente, onde se buscou retratar uma estrutura que seja mais comum nas rodovias nacionais. Portanto, a ponte possui um comprimento total de 60 m, bi apoiada, com um vão principal de 40 m e dois balanços de 10 m cada. A carga permanente considerou apenas o peso próprio da longarina principal sem a consideração dos demais elementos estruturais. Optou-se por essa simplificação, pois o objetivo principal é verificar as diferenças presente nas cargas móveis presentes e não um estudo mais profundo a cerca de todas as cargas presentes na estrutura.

Como na última atualização da NBR 7188 houve a inserção de três diferentes coeficientes, a fim de majorar o valor do trem-tipo adotado para projeto, os mesmos foram calculados seguindo as recomendações da respectiva norma e estão demonstrados a seguir.

- Coeficiente de impacto vertical (CIV): como a ponte analisada possui um vão principal de 40 m, através da Equação (4), têm-se:

$$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{40 + 50} \right) = 1,23$$

- b) Coeficiente número de faixas (CNF): considerando que a ponte possui duas faixas de rolagem através da Equação (5), têm-se:

$$CNF = 1 - 0,05 * (2 - 2) = 1,0 > 0,9$$

- c) Coeficiente de impacto adicional: como material utilizado para construção foi considerado o concreto, através da Equação (6), têm-se:

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas}$$

Conclui-se que nessa versão da norma, especificamente para esse caso, haverá um aumento de aproximadamente 50% nos valores do trem-tipo, partindo de 60 kN para 92,25 kN por eixo localizado no meio do vão principal.

As demais cargas consideradas vêm da carga de multidão e carga nos passeios. Ambas consideradas agindo sobre a área da longarina principal, onde o primeiro valor foi de 1,5 kN/m e o segundo de 9 kN/m.

Ao analisar a estrutura o objetivo é avaliar os valores extremos dos esforços gerados pelo trem-tipo adotado. Para isso faz-se uso das envoltórias dos esforços, geradas pela análise do Ftool. Com isso é possível avaliar os valores máximos e mínimos juntamente com a posição mais desfavorável da estrutura, valores dos quais comumente são adotados para o dimensionamento da estrutura. Para ilustrar têm-se o diagrama de momento fletor mostrado na Figura 5 com as envoltórias limites de esforços e a zona segura de dimensionamento. Os valores são referentes ao trem-tipo recomendado pela NBR 7188 na versão de 2013.

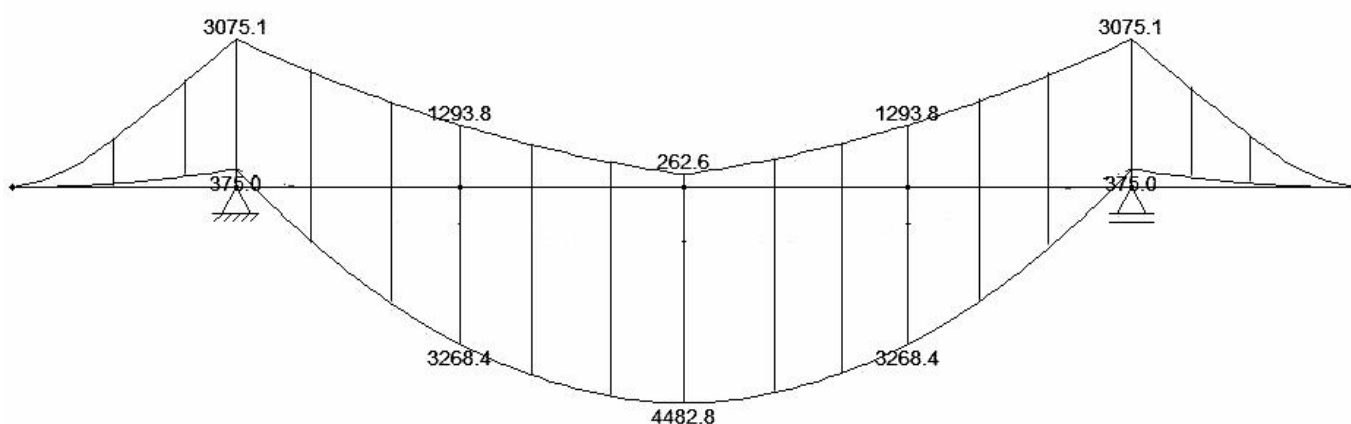


Figura 5: Envoltória de esforços para o momento fletor do trem-tipo TB360 em (kN.m).

A Tabela 2 mostra os valores máximos do esforço de momento fletor característico dividido em cada trecho da ponte com o trem-tipo das duas versões da NBR 7188 e os dois veículos considerados. Na Figura 6 compara-se o valor máximo de momento fletor na posição mais desfavorável da estrutura, ou seja, no meio do vão, para os veículos considerados.

Tabela 2: Momento fletor máximo nos trechos em (kN.m).

	0-10 m	10 m-20 m	20 m-30 m	30 m-40 m	40 m-50 m
NBR 7188 (1984)	-2241,6	2569,7	3551,2	2569,7	-2241,6
NBR 7188 (2013)	-3075,1	3268,4	4482,8	3268,4	-3075,1
3T4	-2091,6	3416,4	4629,3	3416,4	-2091,6
3T6	-3323,3	5727,1	7839,0	5727,1	-3323,3

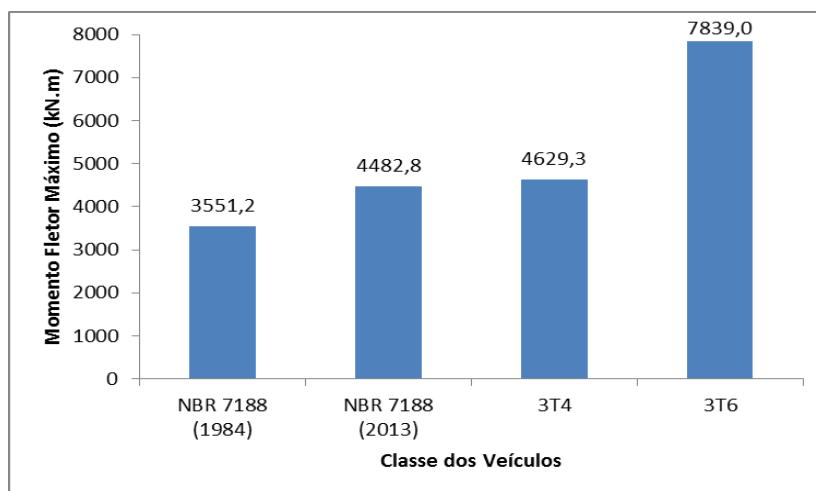


Figura 6: Comparação do valor de momento máximo no meio do vão para os diferentes veículos.

Nota-se que a NBR 7188 na versão de 1984 possui os menores valores de momento fletor em todas as posições da estrutura, sendo assim, não retrata de forma realista o tráfego de veículos pesados no Brasil. Levando-se em conta que a idade média das pontes registradas é superior a 30 anos e a grande maioria delas foi influenciada pelos valores do trem-tipo adotado na mesma, existe hoje uma situação de estruturas sendo solicitadas por cargas muito superiores às quais foram inicialmente projetadas.

Para a NBR 7188 na versão de 2013 percebe-se uma melhora nos resultados obtidos. Em comparação com o veículo 3T4 os números são muito semelhantes, resultando em uma diferença de aproximadamente 4%. Sendo assim, pode-se afirmar que a inserção dos coeficientes que majoram as cargas para o trem-tipo resultou em melhores resultados em termos de esforços e também uma maior similaridade com o tráfego dessa classe de veículo. Para o veículo 3T6 nota-se que para a versão de 1984 da NBR 7188 o valor do momento fletor máximo é cerca de 55% maior e para a versão de 2013, 45% maior. Com isso, têm-se uma realidade de não atendimento à segurança estrutural nessas pontes, visto que a maioria delas foi construída na vigência da versão anterior da norma, tem-se assim um caso de estruturas não preparadas para o tráfego desse tipo de veículo. Onde pode-se gerar diversas patologias nessas estruturas, visto o aumento do número desse tipo de veículo trafegando nas rodovias.

Para o momento máximo negativo percebe-se que a versão atual da norma consegue simular bem o comportamento geral dos veículos, tendo na maioria das vezes valores superior ou muito semelhante para os dois diferentes veículos considerados.

Conclusão

Com os resultados obtidos conclui-se que a atual versão da NBR 7188, consegue em partes retratar com maior veracidade o tráfego de veículos pesados no Brasil. Os resultados mostram que considerando o veículo 3T4, muito comum nas rodovias, principalmente para carregamento de grãos, a inserção dos coeficientes que majoram o trem-tipo adotado pela norma consegue, em termos de esforços, uma boa aproximação com os resultados obtidos para o veículo citado. Já para o veículo 3T6 o mesmo não acontece, visto que os valores obtidos ainda são bem discrepantes, comprometendo assim à vida útil dessas estruturas, onde pode-se gerar diversas patologias oriundas dessa sobrecarga.

Como as pontes, em sua maioria, nas rodovias possuem idade média superior a 30 anos, os resultados mostram um cenário desfavorável. As diferenças para os veículos mais pesados são grandes, podendo chegar a um aumento de mais de 100% na carga considerando, por exemplo, o veículo 3T6. Um dos motivos deve-se ao fato de que antigamente o tráfego nacional não contava com esse tipo de veículo, liberados apenas legalmente após 2005. Com a liberação os mesmos se disseminaram pelas rodovias nacionais muito devido a sua capacidade total de carga, sendo muito utilizados em períodos de safra de grãos.

Como visto mais da metade das pontes no Brasil não se tem qualquer informação quanto ao levantamento de cargas utilizadas em seus projetos. Pode-se que a carga utilizada seja superior à indicada na norma, fazendo com que essas pontes ainda consigam absorver esse tráfego pesado. Por outro lado, verifica-se a dificuldade de manutenção das mesmas, onde existem diversos casos de estruturas deterioradas comprometendo assim a segurança de seus usuários.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188:1984: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188:2013: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- FTOOL- Two-Dimensional Frame Analysis Tool, versão 1.0, Departamento de Engenharia Civil – PUC-RIO, desenvolvido por Luiz Fernando Martha.
- HOLTZ, G. C. C.; MARTHA, L. F. C. R.; VAZ, L. E. Envoltória de esforços internos devido à ação de trens-tipo em pontes usando estratégia evolutiva. Congresso de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2005.
- LUCHI, L.A. Reavaliação do trem-tipo à luz das cargas reais nas rodovias brasileiras. 2006. 282f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MARTHA, L.F. Análise de estruturas – Conceitos e métodos práticos. Livro. Editora Campus, 2010.
- MENDES, P.C. Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras. 2009. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ROSSIGALI, C.E. Atualização do modelo de cargas móveis para pontes rodoviárias de pequenos vãos no Brasil. 2013. 304f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- SILVA P.F, BRITO, M.N, SANTOS, I.C. et.al. Efeitos da mudança da NBR 7188:2013 nos projetos de pontes. Estudo de caso: Projeto de recuperação da ponte sobre o rio Correias na BR 101/SC. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2014.

